

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 87107100.7

51 Int. Cl.³: G 01 B 7/14

22 Anmeldetag: 16.05.87

30 Priorität: 23.05.86 DE 3617373

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
25.11.87 Patentblatt 87/48

84 Benannte Vertragsstaaten:
DE ES FR GB IT SE

71 Anmelder: MTU MOTOREN-UND TURBINEN-UNION
MÜNCHEN GMBH
Dachauer Strasse 665 Postfach 50 06 40
D-8000 München 50(DE)

72 Erfinder: Ding, Kurt, Dr.
Burgfriedenstrasse 7
D-8900 Augsburg(DE)

72 Erfinder: Knöll, Hartwig, Dr.
Akazienstrasse 32
D-8047 Karlsfeld(DE)

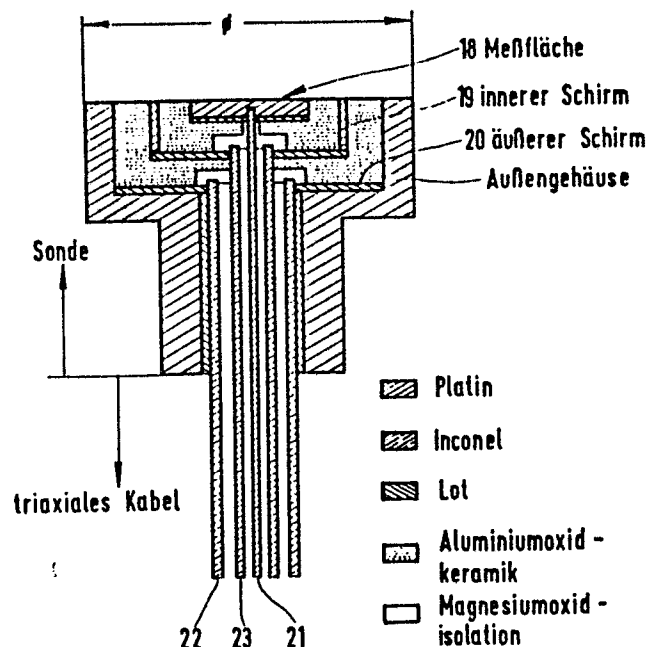
72 Erfinder: Wenzl, Josef
Hochstrasse 3
D-8061 Hebertshausen(DE)

54 Kapazitives Messsystem.

57 Kapazitives Meßsystem zur Messung des Abstandes zwischen zwei relativ zueinander bewegten Teilen auf der Basis einer Ladungsmessung mit einer Meßsonde, die das gegenüberliegende Teil in den Kondensator, dessen Spalt gemessen werden soll, einbezieht. Bei bekannter Position der Sondenmeßfläche im Gehäuse ergibt sich aus dem Plattenabstand des Spaltkondensators unmittelbar der Spalt.

Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens mit Schaltungsanordnung der Komponenten der Meßkette. Einbaubeispiele in Maschinen mit rotierenden Teilen. Anwendung zur geregelten Spaltkontrolle (ACC) von Gasturbinen wie Rotor und Stator unter Betriebsbedingungen.

FIG. 6



1 Bei relativ zueinander beweglichen Teilen, wie Bauteilen von Maschi-
nen, insbesondere Turbomaschinen jeder Art, ist es wichtig, den Ab-
stand - Spalt genannt - zwischen den Teilen möglichst genau zu kennen.
5 Bei Turbomaschinen beeinflußt die Größe des Spaltes zwischen Rotor-
schaufel und Gehäuse die sogenannten Leckverluste, die wiederum unmit-
telbar auf den Wirkungsgrad der Maschinen durchschlagen. Mit Hilfe
eines kapazitiven Meßsystems, wie es in der deutschen Patentschrift
34 33 351 beschrieben ist, ist es gelungen, ein praktikables Verfahren
10 anzugeben, das störungsfreie Messungen liefert. Von diesem Meßsystem
geht die Erfindung aus. Sie betrifft ein kapazitives Meßsystem auf der
Basis einer Ladungsmenge zur Messung des Abstandes zwischen zwei re-
lativ zueinander beweglichen Teilen, insbesondere dem Abstand der
Schaufelspitzen eines leitfähigen Rotors zum Gehäuse einer Strömungs-
15 maschine, mit einer Sonde- und einer Erfassungs- und/oder Auswerte-
einrichtung für die Meßwerte, wobei die Sonde in einer Gehäusewand
feststehend angeordnet ist, die Sonde an einen Spannungserzeuger und
einen Ladungsverstärker über ein triaxiales Kabel mit jeweils gegen-
seitig isolierten Leitern so angeschlossen ist, daß der die Meßsonde
20 und das gegenüberliegende Teil einbeziehende Kondensator vorgespannt
ist, mit umschaltbarer Polarität, gesteuert vom Erfassungssystem, so
daß Messungen bei unterschiedlichen Spannungen zeitlich nacheinander
durchführbar sind, indem die in und aus der Meßkapazität fließende
Ladung gemessen wird und wobei die Sonde eine Meßfläche aufweist, die
25 kleiner ist als die vom beweglichen Teil überstrichene Fläche und
diesem Teil zugekehrt ist, während zwischen beiden der zu bestimmende
Spalt vorhanden ist.

Aufgabe der Erfindung ist es die Meßeinrichtung, insbesondere die
Sonde (Fühler), für ein solches kapazitives Meßsystem weiter zu ver-
30 bessern, hinsichtlich ihrer Unempfindlichkeit im Betrieb und damit der

1 Meßgenauigkeit und hinsichtlich ihrer leichten Einbaubarkeit sowie
eine vorteilhafte Anwendung des kapazitiven Meßsystems für eine aktive
Spaltregelung (Active Clearance Control) aufzuzeigen.

5 Die Lösung diese Aufgabe ist im Hauptanspruch enthalten, weitere Merk-
male und weitere Vorteile sind Ansprüchen, Beschreibung und der Zeich-
nung von Ausführungsbeispielen zu entnehmen. Zur Erfindung gehören
ausdrücklich auch alle Kombinationen der beanspruchten, beschriebenen
10 und dargestellten Merkmale, sowohl untereinander als auch mit an sich
bekannten Merkmalen.

Die wichtigsten Vorteile der Erfindung sind:

15 Der Einbau und die Verbindung der Sonde ist druckdicht gegenüber Flui-
den, tempe- raturunempfindlich, so daß die Meßgenauigkeit nicht beein-
flußt wird. Die Meßfläche kann exakt fixiert werden und die Sonden-
stirnfläche ist an die Gehäusekontur anpassbar. Der Einbau gegenüber
einem festen Anschlag ist justierbar und die Sonde schwingungsunem-
20 pfindlich festgehalten bzw. gelagert. Die Bauform der neuen Sonde (ab-
gewinkelte Sonde) erlaubt wegen ihrer geringeren Bauhöhe weit mehr
Einbaumöglichkeiten. Einbau und Ausbau der Sonde werden erleichtert,
somit gewünschtenfalls ein Austausch.

25 Die neue Meßeinrichtung läßt sich für die Messungen des aktuellen Be-
triebsspaltes und dessen Regelung für jeweils einzelne Komponenten
einer Turbomaschine teilen, jedoch hinsichtlich der Betriebsbedingun-
gen (mehrerer) in optimaler Weise gemeinsam anwenden. Das erfindungs-
gemäße kapazitive Meßsystem ist sowohl für stationäre als auch für
30 instationäre Messungen geeignet und vor allem auch für die Einzel-
schaufelmessung.

1 Das Meßsystem ist auch im Stillstand der Maschine auf einfache und
sichere Weise kalibrierbar, z. B. durch Verstellen der Sonde gegenüber
5 einer stehenden Schaufel eines Rotorkranzes und Modulation der Vor-
spannung (U_{rel}). Das Meßsystem ist schwingungsunempfindlich durch ak-
tive Gleichspannungs-Schutzschirmtechnik in Sonde und Kabel. Dadurch,
daß die in und aus der Spaltkapazität fließende Ladung gemessen wird,
verfälschen Kapazitätsänderungen von Kabel und Sonde, hervorgerufen
durch Temperaturschwankungen, nicht das Meßergebnis.

10 Eine Einzelschaufellängenmessung ist bis zu Schaufelwechselfrequenzen
von etwa 50 kHz möglich.

15 Eine Messung des zeitabhängigen Spaltverlaufs bei transienten Vorgän-
gen (Beschleunigung, Verzögerung) ist möglich.

20 Die Sonde des Meßsystems ist sehr klein und mit einem flexiblen An-
schlußkabel in kleine Gehäuseöffnungen einsetzbar. Sie ist ungekühlt
anwendbar bis 600° C. Das Meßsystem ist mit einer schnellen Meß-
elektronik zur Bestimmung der Signalhöhe der aufeinanderfolgenden
Schaufelimpulse versehen und es gestattet eine schnelle Umsetzung der
gemessenen Signalhöhe in einen Spaltwert sowie digitale und/oder ana-
25 loge Ausgabe des Spaltes. Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in
den beigefügten Zeichnungen rein schematisch dargestellt. Anhand die-
ser Zeichnungen erläutert die nachfolgende Beschreibung Ausführungs-
formen der Erfindung.

Es zeigt:

30 Fig. 1 den Wirkungsgrad bei Vergrößerungen des Rotorspaltes .

Fig. 1a einer Axialturbine und

35

Fig. 1b eines Radialverdichters,

Fig. 2 Meßsignale, wie sie beim jeweiligen Stand eines beschaufelten Rotorkranzes gegenüber einer Sonde des erfindungsgemäßen Meßsystems erzeugt werden,

Fig. 3 den prinzipiellen Aufbau der Meßkette,

Fig. 4 ein Blockschaltbild von Komponenten der Meßkette,

Fig. 5 eine im Gehäuse eingebaute Sonde mit zugehörigem Rotor in perspektivischer Ansicht,

Fig. 6 einen Schnitt durch eine Sonde zu Fig. 5,

Fig. 7 einen Schnitt durch ein Gehäuse einer Turbomaschine mit eingebauter Sonde.

Fig. 8a einen Schnitt durch eine Sonde zu Fig. 7,

Fig. 8b eine Draufsicht auf eine Sonde zu Fig. 8a,

Fig. 9 eine Anwendung des Meßsystems zur geregelten Spaltkontrolle in Turbomaschinen.

Im Beispiel der Fig. 1a ist der Schaufelkranz eines Rotors einer Turbine dargestellt mit einer Länge h der Laufschaufel 4 und einem Spalt s gegenüber dem Gehäuse 2 mit Stator bzw. einem feststehenden Ring von Leitschaufel 5. Daneben ist der Wirkungsgrad-Verlust in % über dem relativen radialen Rotorspalt aufgetragen. In Fig. 1b ist ein Radialverdichter dargestellt mit einem Rotor 6 und außenliegendem Gehäuse 2 gegebenenfalls mit Stator bzw. Leitschaufelring 5. Wie in Fig. 1a ist

1 auch hier die wirksame Schauffelllänge mit h und der Spalt des Rotors
gegenüber dem Gehäuse mit s bezeichnet. Die nebenstehende Graphik
zeigt den Wirkungsgradverlust in % über dem relativen axialen Rotor-
spalt (s/h). Gleiches gilt nicht nur für Verdichter, sondern auch für
5 Pumpen, Gebläse, Lüfter, Turbolader oder ähnliche Maschinen.

In Fig. 2 ist die Position der Sonde 1 relativ zum Schaufelkranz des
Rotors 6 ersichtlich und die damit erzeugten Meßsignale. Im linken
Teil der Fig. 2 ist gegenüber der Sonde eine Schaufelbrücke, im rech-
10 ten Teil der Fig. 2 gegenüber der Sonde eine Schaufelspitze liegend
bzw. stehend. Die Drehrichtung des Rotors 6 mit Schaufelkranz ist
durch Pfeil angedeutet. Das Ladungsverstärkerausgangssignal 7 und
seine Zugehörigkeit zu einer bestimmten Position Schaufel zur Sonde
sind ebenfalls durch Pfeil gekennzeichnet. Jeweils in der Mitte einer
15 Lücke ist das Ausgangssignal am kleinsten und bei kleinstem Abstand
zwischen Schaufelspitze und Sonde (Spalt) am höchsten (Spannungs-
spitze). Die in Fig. 3 dargestellte Meßkette besteht (von links nach
rechts) aus dem Kondensator, der aus der im Gehäuse befestigten Sonde
1 und der Schaufelspitze 4 gebildet wird und an dem eine Kapazitäts-
20 Ladungskonversion stattfindet. Eine Ladungs-Spannungskonversion und
die Erzeugung einer Sonderspannung findet statt im Ladungsverstärker
8. Eine Signalformung, eine Spitzenwertmessung und Digitalisierung
erfolgt in der Aufbereitungselektronik 9. Eine Ablaufsteuerung sowie
die Spaltberechnung erfolgt im Rechner 10 und die Dokumentation der
25 Meßwerte erfolgen z. B. auf einem Drucker 11 oder der Linienschreiber
12. Auch andere Datenausgabe und/oder -aufzeichnungs- bzw. Registrier-
geräte sind anwendbar.

Das in Fig. 4 dargestellte Blockschaltbild zeigt die Ladungsverstärker-Sondenspannungseinheit bestehend aus Ladungsverstärker 8, Differenzverstärker 13, Sondenspannungsquelle 14 und Netzteil 15, welche der Ladungs-Spannungskonversion und der Erzeugung der Sondenspannung dienen.

Der Ladungsverstärker und der Differenzverstärker sind zueinander in Serie geschaltet. Die durch den Differenzverstärker maßbezogenen Ausgangssignale des Ladungsverstärkers werden an die Aufbereitungselektronik weitergeleitet. Der Ladungsverstärker 8 ist auch, wie dargestellt, mit dem Sondenspannungsgeber 14 verbunden. In Fig. 5 sowie Fig. 7 sind räumliche Sondenarrangements im Gehäuse einer Turbomaschine ersichtlich. Die Zuordnung zum Rotor ist in Fig. 5 perspektivisch dargestellt. Man erkennt deutlich die aktive Sondenfläche und die triaxiale Anordnung von Elektroden und Isolationsschichten. Die Sonde ist im Gehäuse der Maschine kalibrierbar angebracht in einem Sicherheitsabstand zur längsten Schaufel. Es ist der Spalt zwischen Rotor (hier Schaufelspitzen) und Gehäuse bezeichnet. Fig. 6 zeigt eine Sonde 1 in Fig. 5 mit Materialangaben.

In Fig. 7 ist die Sonde in einem mehrteiligen Gehäuse eingesetzt. Die Sonde hat das Bezugszeichen 1 und ihr Halter das Bezugszeichen 30, während das Gehäuse das Bezugszeichen 2 besitzt. Der Abstand zur Schaufelspitze des rotierenden Kranzes 6 ist mit "S" bezeichnet, die Laufschaufel mit 4 und eine Leitschaufel mit 5. (vgl. Fig. 1a)

Es ist ersichtlich, daß die Sonde 1 klein und leicht einbaubar und anschließbar ist. So betrug z. B. der in Fig. 6 gezeigte SONDENDURCHMESSER etwa 10 mm und die Höhe derselben war noch geringer. Ein Anschlußkabel kann direkt an die Sonde auf der der Schaufelspitze abgekehrten Seite angeschlossen werden, insbesondere unter einem Winkel

1 von 90° zur Achse der Sonde. Bevorzugt wird die Ladungsverstärker-
einheit (in Fig. 4 dargestellt) in einem robusten Spezialgehäuse un-
tergebracht zusammen mit dem Regler für die Sondenspannung und der
5 Stromversorgung (Netzteil). Ist der Spaltkondensator mit einer kon-
stanten Gleichspannung U_{ref} gegenüber dem Rotor vorgespannt, so wird
die aktive Sondenfläche bei jedem Schaufeldurchgang elektrisch aufge-
laden und entladen.

10 Ist die aktive Sondenfläche 18 bei dem Meßsystem an den Ladungs-
verstärker angeschlossen, so wird an dessen Ausgang ein Spannungs-
signal U_A erzeugt, das ein Maß für die Ladungsmenge Q ist, die dessen
Eingang zugeführt oder entzogen wird.

15 Die maximale Ladungsmenge Q_{imax} jedes Schaufelwechsels ist abhängig
von der Kapazität des Spaltkondensators C_{si} und damit vom Abstand d_i
der individuellen Schaufel 4 von der Sonde 1 entsprechend der Gleichung:

20
$$Q_{imax} = C_{si} \times U_{ref} \times f(d_i);$$

$$f(d_i)$$

gibt den Zusammenhang zwischen Spalt und Kapazität an, der durch
Kalibrierung ermittelt wird.

25 Da der Ladungsverstärker 8 durch ein triaxiales Kabel 17 abgeschirmt
an die Sonde 1 angeschlossen wird, bei dem Seele und Schutzschirm auf
gleichem Potential liegen, wird eine Eigenkapazitätsänderung von Sonde
oder Kabel im Bereich zwischen Schutzschirm und Seele der Sonde 1 vom
Ladungsverstärker 8 nicht realisiert, da keine Ladungsverschiebung
30 durch Umladung auftritt, denn dieser Bereich des Kondensators liegt
mit beiden Seiten auf gleichem Potential, d. h., daß nur die Kapazität
des Spaltkondensators erfaßt wird, die sich in Abhängigkeit vom Ab-

35

1 stand zwischen Sonde 1 und Schaufel 4 verändert. Die Sonde 1 ist
möglichst nahe dem beweglichen Teil 4 angeordnet. Der Abstand zwischen
Sonde 1 und längster Schaufel 4 ist jedoch frei wählbar. Wird er je-
5 doch möglichst klein gehalten, erhöht sich dadurch die Empfindlichkeit
der Meßeinrichtung. Die Meß- und Stirnfläche 18 der Sonde 1 kann auch
an die Innenkontur des Gehäuses 2 angepaßt werden, wenn diese z. B.
von einer ebenen Fläche abweicht.

10 Die im Gehäuse 2 eingebaute Sonde 1 bildet zusammen mit der Schau-
felspitze 4 den Spaltkondensator, dessen Plattenabstand gemessen und
angezeigt werden soll. Bei bekannter Position der aktiven Sondenfläche
18 im Gehäuse ergibt sich aus dem Plattenabstand unmittelbar der
Rotorspalt "S".

15 Die Ladungsmenge am Spaltkondensator wandelt der Ladungsverstärker 8
mit hoher Frequenzbandbreite in das in Fig. 2 angedeutete Spannungs-
signal 7. Die Bandbreite des Ladungsverstärkers 8 ist dabei auf den
Frequenzinhalt des zu erwartenden Ladungssignals mit Vorteil abge-
stimmt. Um die obere Grenzfrequenz des Ladungsverstärkers nicht zu
20 verringern, ist es vorteilhaft, das Sondenanschluskabel 17 möglichst
kurz zu halten.

Die Aufbereitungselektronik 9 hat die Aufgabe, nach Filterung und
Verstärkung des Signals den Spitzenwert jedes Schaufelwechselimpulses
25 einzeln zu vermessen und zu digitalisieren. Die ermittelten Pulsam-
plitudenwerte werden dann als Bits dem Rechner 10 parallel übergeben.

Der Rechner 10 steuert den Ablauf der Messung entsprechend der vom
Benutzer gewählten Betriebsart und rechnet die Meßwerte (Volt) in
30 Spaltwerte s (in mm) um.

1 Als Betriebsart lassen sich wählen (bei 16):

- a) stationäre Messung
- 5 b) instationäre Messung
- c) Einzelschaufelmessung
- d) Kalibrierung

10 Stationärer und instationärer Meßbetrieb sind zu unterscheiden. Wenn man die Messung zweimal mit unterschiedlicher Polarität der Sonden-
spannung durchführt und danach den arithmetischen Mittelwert bildet, erhält man einen von der Sondenvorspannung abhängigen Spaltsignalwert auch bei schlechter Erdung des Rotors. Die Umpolung der Sondenvorspannung sollte mit dem jeweiligen Anwendungsfall angepaßter Taktfrequenz durchgeführt werden. Diese läßt sich jeweils in Versuchen leicht er-
15 mitteln und zwar unterschiedlich für stationäre und instationäre Messungen. Bei der stationären Betriebsart kann nach einer vorwählbaren Zeitspanne die Sondenvorspannungspolarität automatisch gewechselt werden. Bei der instationären Betriebsart kann die Polaritätsumschaltung z. B. während schneller Beschleunigungs- oder -verzögerungsphasen der
20 Maschine unterbrochen werden. Es wird dann bei einem einmaligen Umschaltvorgang ein Korrekturfaktor bestimmt. Der Rechner verarbeitet diesen Korrekturfaktor automatisch bei mit einer Polarität aufgenommenen Spaltsignalwerten in diesem Beispiel.

25 Als Meßergebnis kann der Rechner unabhängig von der Betriebsart den kleinsten Spalt pro Umlauf, den größten Spalt oder auch den mittleren Spalt angeben. Ebenso ist die Einzelschaufelmessung möglich, bei der die Spaltwerte für jede Schaufel des Umfanges ermittelt und auf-
30 listet werden. Die Ausgabe der Meßergebnisse ist je nach stationärer und instationärer Messung unterschiedlich.

35

Bei einer Messung vorhergehenden Kalibrierung wird wie folgt verfahren:

Die Sonde 1 wird relativ zum Gehäuse 2 in Richtung auf das bewegliche Teil wie Rotorkranz 6 mit vorstehender Schaufel verschoben. Durch periodische Modulation der Frequenzspannung (Sondenvorspannung) wird der Kondensator bestehend aus Sonde und Schaufel umgeladen und es wird ein Kalibriersignal erzeugt. Abwandlungen der oben beschriebenen Ausführungsbeispiele können vorgenommen werden, ohne hierdurch den Schutzbereich der Erfindung einzuengen. Auch andere Anwendungen als vorher beschriebenen lassen sich durchführen. Das Meßsystem kann voll automatisiert werden hinsichtlich Steuerung, Auswertung, Fehlerüberwachung und es ist mehrkanalig zu betreiben. Die Erfindung ist auch nicht auf Strömungsmaschinen beschränkt, sondern allgemein bei Kraft- und Arbeitsmaschinen anwendbar sowie als Abstandsmeßsonde in Werkzeugmaschinen bzw. Handhabungssystemen wie Roboter, elektrische Maschinen, auch auf Maschinen wie Elektromotoren, -generatoren zur optimalen Spalteinstellung zwischen Rotor und Stator. Dadurch läßt sich deren magnetischer Wirkungsgrad verbessern. Ersichtlich kann die erfindungsgemäße Sonde 1 sowohl in Achsrichtung (Fig. 6) als auch abgewinkelt (90° für Fig. 8a und 8b) ausgeführt, bzw. mit dem triaxialen Kabel 17 verbunden werden. Die hier letztgenannte Ausführung wird bevorzugt. Drei Ausführungsformen sind möglich.

- a) Sonde: Isolator aus Glas, Metallteile aus Vacon (Inconel) 21 - 23
Verbindung Isolator - Metall durch Glasverschmelzung 25
Kabel: flexibles Teflonkabel
Verbindung Sonde - Kabel: Weichlöten, Crimpen

Einsatztemperatur bis 250 Grad C (Fig. 7)

1

b) Sonde wie a)

Kabel: mineralisiertes Metallmantelkabel (Al_2O_3 und H_2O)

Verbindung Sonde - Kabel: Hartlöten, Schweißen

(Fig. 8a + b)

5

Einsatztemperatur bis 400 Grad C

10

c) Sonde: Isolator aus Aluminiumoxidkeramik 19, 20

Metallteile aus Platin (Meßfläche 18)

Verbindung Isolator - Metall: Vakuumlötung

Kabel: mineralisiertes Metallmantelkabel (z. B. der Firma BICC)

Verbindung Sonde - Kabel: Vakuumlöten, Hartlöten mit Lot 24

15

Einsatztemperaturbereich bis 750 Grad C (Fig. 6)

20

In Fig. 7 ist innen auf der Gehäusewand ein Belag 26 mit guten Einlaufeigenschaften gegenüber den Spitzen der Schaufel 4 vorgesehen. Das Sondengehäuse 20 ist bis zu einem Anschlag 27 in Richtung auf die Schaufel 4 verstellbar und feststellbar mittels einer Schraube 28 die in einem Kopf 29 angeordnet ist, der mittels Halteplatte 30 und Schraube 31 an der Wand 2 des Turbinengehäuses befestigt ist.

Die Nachteile bekannter Sonden sind;

25

- koaxialer Aufbau: ^{da-} durch hohe Streukapazität und hohe Empfindlichkeit gegen Vibrationen

- große Bauform (Durchmesser, Höhe); dadurch beschränkte Einbaumöglichkeiten

30

35

- geringer Einsatztemperaturbereich aufgrund der verwendeten Isolatormaterialien: bei erhöhter Temperatur geringe Festigkeit und geringer elektrischer Isolationswiderstand
- geringe Meßgenauigkeit bei weitem Einsatztemperaturbereich, da Isolatormaterialien mit hohem thermischen Ausdehnungskoeffizienten verwendet werden

Die Vorteile der neuen Sonde sind:

- triaxialer Aufbau: dadurch geringe Streukapazität, da der innere Schirm aktiv auf dem Potential der Meßfläche gehalten werden kann; geringe Empfindlichkeit gegen Vibrationen
- kleine Bauform (Durchmesser, Bauhöhe): weite Einsatzmöglichkeit
- verwendete Isolatormaterialien und Verbindungstechniken: weiter Einsatztemperaturbereich, hohe Festigkeit, druckdicht bis zu hohen Drücken (40 bar), hoher elektrischer Isolationswiderstand (größer 500 kOhm) über vollen Temperaturbereich, hohe Meßgenauigkeit durch exakte Fixierung der Meßfläche mit Materialien mit geringem thermischen Ausdehnungskoeffizienten
- Sondenstirnfläche anpaßbar an Gehäusekorrektur: nach Fertigstellung der Sonde kann die Stirnfläche an die Gehäusekontur angepaßt werden ohne Beeinträchtigung der elektrischen und mechanischen Eigenschaften der Sonde

- 1
- Kabelanschluß in Geradeaus- oder 90°-Ausführung möglich: dadurch hohe Flexibilität bei Anpassung an die Gehäusegegebenheiten
- 5
- Kabel integraler Bestandteil der Sonde; bei Hochtemperaturversion Sondenteil und Kabel in einem Vakuumlötvorgang verbunden: dadurch hohe Zuverlässigkeit.
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35

Beispiel der Anwendung der Erfindung
bei einer geregelten Spaltkontrolle (ACC)
in Gasturbinen (Fig. 9)

Der Wirkungsgrad von Turbomaschinen (Strahltriebwerk, Wellenleistungstriebwerk; stationär oder fliegend) wird wesentlich beeinflusst durch die Größe der Rotorspalte (Spalt zwischen Rotorscheaufelspitze und Gehäuse; Statorschaufelspitze und Welle) (Fig. 1a + 1b). Eine Minimierung dieser Spalte für alle Betriebszustände der Maschine (stationär/ instationär; Teillast/Vollast) und über die gesamte Laufzeit der Maschine führt zu einer erheblichen Wirkungsgradverbesserung. Das momentane Verfahren der gesteuerten Spaltkontrolle in Triebwerksturbinen durch Gehäusekühlung hat folgende Nachteile:

- Der Spalt läßt sich nur in stationären Betriebspunkten minimieren nach einer langen Stabilisierungszeit; sonst besteht die Gefahr des Anstreichens der Rotoren am Gehäuse.
- Durch Verschleiß verändert sich der Zusammenhang zwischen Triebwerksparametern die zur Spaltsteuerung benötigt werden und dem aktuellen Rotorspalt; deshalb ist der Spalt nicht optimal über die gesamte Betriebsdauer der Maschine steuerbar, da die Änderung dieses Zusammenhanges nicht erfaßt werden kann.

1

Das neue Verfahren beruht auf folgendem:

5

- Messung des aktuellen Betriebsspalt für die einzelnen Komponenten (Verdichter, Turbine; Niederdruck, Hochdruck axial oder radial) des Triebwerkes 38 z. B. durch das kapazitive Spaltmeßsystem nach der DE 3433351 C1.

10

- Verarbeitung der Spaltinformation zusammen mit weiteren Triebwerksparametern in einer elektronischen Einheit 32 (evtl. mit Mikroprozessor gesteuert) und Ansteuerung einer Ventileinheit 33, 34

15

- Minimierung der Spalte getrennt für die einzelnen Komponenten (Wand-) durch Gehäusekühlung 37 oder durch axialen Wellenversatz bei konischen Gehäusen mit Hilfe eines Stellzylinders 36; Steuerung (pneumatisch) über die Ventileinheit 33, 34, die mit der Steuereinheit 32 (Regler) über Steuerleitungen 35 verbunden sind.

20

25

30

35

Bezugszeichen / references:

1	Sonde	sensor
2	Gehäuse	casing
3	Befestigung (v. 1 an 2)	mounting (of 1 at 2)
4	Laufschaufel	rotor blade
5	Leitschaufel	stator vane
6	Rotor	rotor
7	Signal	signal
8	Verstärker	amplifier
9	Aufbereitung	conditioning
10	Rechner	computer
11	Drucker/Zeichner	printer/plotter
12	Schreiber/Speicher	recorder/memory
13	Differenz-Verst.	differential ampl.
14	Spannungsquelle	voltage source
15	Stromversorger	power pack
16	Betriebsart-Wähler	mode-selector
17	Anschlußkabel	electric cable
18	Meßfläche	active sensor face
19	Isolation (Innen)	insulation layer (inner)
20	Isolation (Äußere)	insulation layer (outer)
21	Innenleiter Seele	inner conductor (core)
22	Außenleiter	outer conductor
23	Mittlerer Leiter (zwischen)	intermediate conductor
24	Lot-Material	braze material

1	25	Glas Einschmelzung	glass melting
	26	Belag auf der Innen- seite der Gehäusewand	conting (on) -inner casing
	27	Anschlag f. 20	abutment (f. 20)
5	28	Feststellschraube	adjusting screw
	29	Kopf z. Aufnahme v. 28	head f. insertion of 28
	30	Halteplatte	holding element
	31	Halteschraube	fixation for 30
	32	Steuereinheit	control unit
10	33	Ventil (f. Druckluft)	valve (compr. air)
	34	Ventil (f. Druckluft)	valve (compr. air)
	35	Verbindungsleitungen (z. Steuern)	connections for control
	36	Stellglieder f. 37	active elements for 37
15	37	Spaltverstellung im Gehäuseteil	clearance control stator parts
	38	Triebwerk (Verdichter/Turbo)	power plant (engine)
	39	Triebwerks-	power operational
20		Sollwerteingabe v. 32	preset values for 32
	40	Triebwerks-	in operation actual
		Istwerteingabe f. 32	of 38 measured signals to 32

25

30

35

1 zw/si

MTU MOTOREN- UND TURBINEN-UNION
MÜNCHEN GMBH

5

München, den 6.4.1987

10

P a t e n t a n s p r ü c h e

15

20

25

30

1. Kapazitives Meßsystem zur Meßung des Abstandes zwischen zwei relativ zueinander beweglichen Teilen, insbesondere dem Abstand der Schaufelspitzen eines Rotors zum Gehäuse einer Strömungsmaschine, mit einer Sonde und einer Erfassungs- und/oder Auswerteeinrichtung für die Meßwerte, wobei die Sonde in einer Gehäusewand angeordnet ist und über ein triaxiales Kabel mit jeweils gegenseitig isolierten Leitern so angeschlossen ist, daß der die Meßsonde und ein ihr gegenüberliegendes Teil einbeziehende Kondensator vorgespannt ist, so daß Messungen bei unterschiedlichen Spannungen zeitlich nacheinander durchführbar sind, indem die in und aus der Meßkapazität fließende Ladung gemessen wird und wobei die Sonde eine Meßfläche aufweist, die kleiner ist als die vom beweglichen Teil überstrichene Fläche und diesem Teil zugekehrt ist, während zwischen beiden der zu bestimmende Spalt vorhanden ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßfläche (18) der Sonde (1) auf einer Scheibe oder einem Zylinder mit der Seele des

35

1 triaxialen Kabels (17) verbunden ist, aus einem Metall
der Platingruppe (VIII) oder einer Legierung mit einem
Metall aus dieser Gruppe besteht, wobei die Verbindung
5 durch ein Hochtemperaturlot oder durch Schweißung er-
folgt und die Leiter (21-23) getrennt jeweils durch
Isolierpulvermasse aus Keramik oder Glas gegenüber Ab-
schirmungen (19,20), die aus einem Material möglichst
kleiner Wärmedehnung bestehen, in einer Wand (2) ange-
10 ordnet sind.

2. Kapazitives Meßsystem mit einer Sonde nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß die Meßfläche (18) und die
gesamte Oberfläche eben bzw. bündig mit der Komponenten-
wand oder einem Belag (26) auf dieser Wand (2) angeordnet
15 ist.

3. Kapazitives Meßsystem mit einer Sonde nach Anspruch 1 oder
2, dadurch gekennzeichnet, daß die Sonde (1), an ihrem
dem Spalt abgekehrten Ende, mit dem triaxialen Kabel
20 (17) winklig (90°) verbunden, eingesetzt ist in die Wand
(2) der Komponente und mit einem Ladungsverstärker (8) und
Spannungserzeuger (13,14,15) verbunden ist, so daß sie
eine bauliche Einheit (Montageeinheit) bilden.

25 4. Anwendung eines kapazitiven Meßsystems mit einer Sonde nach
einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, bei einer
Maschine zur aktiven Spaltregelung (ACC) vom Komponenten
eines Stators gegenüber Komponenten (Flächen) eines
30 Rotors.

- 1 5. Anwendung eines Systems nach Anspruch 4 mit Hilfe einer
elektrischen, elektronischen, insbesondere Mikroprozessor- oder
5 mikrocomputergesteuerten Kontrolleinheit (32), der Triebwerkspa-
rameter (39) als Soll- und Ist-Werte (40) eines Triebwerkes (38)
zuführbar sind zur aktiven Spaltregelung (ACC) besagter Komponen-
ten von Rotor und Stator, mit Hilfe von steuerbaren Ventilen (32,
10 34) für Druckluft oder Drucköl zur radialen und/oder axialen Ver-
stellung von Komponenten relativ zueinander, insbesondere bei
Komponentenerwärmung zwecks steuerbarer Abkühlung derselben.

FIG. 1a

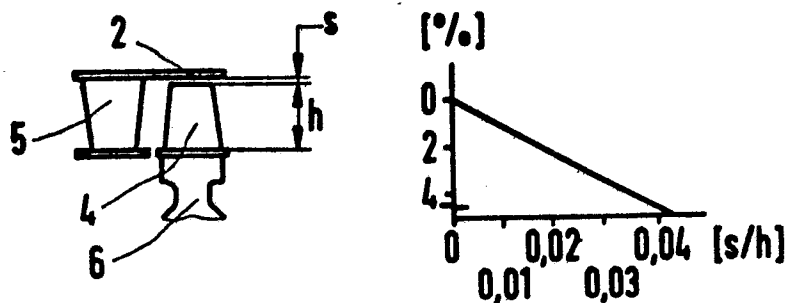


FIG. 1b

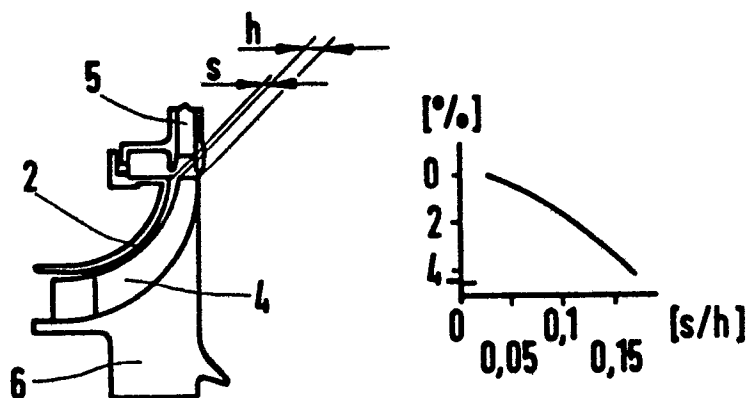
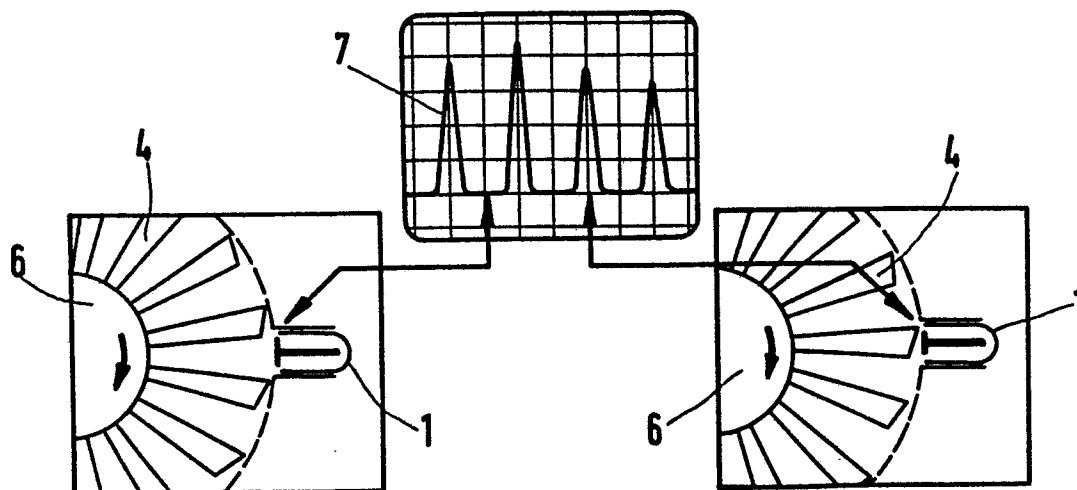


FIG. 2



2/5

11:18:05:07

FIG. 3

0246576

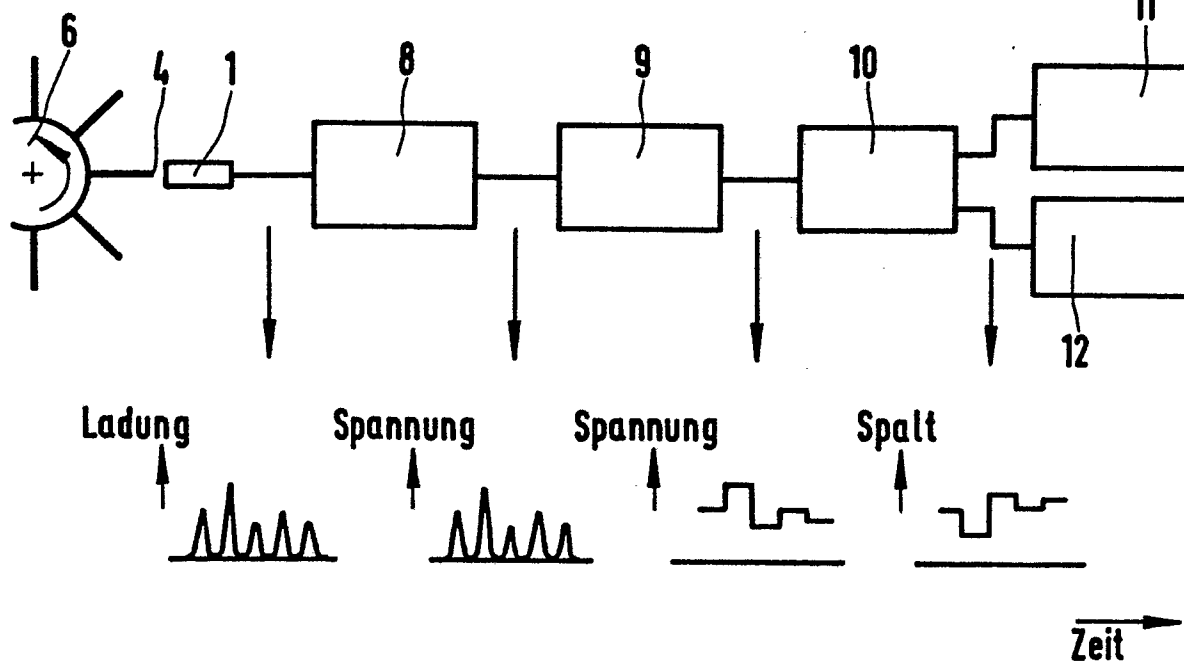


FIG. 4

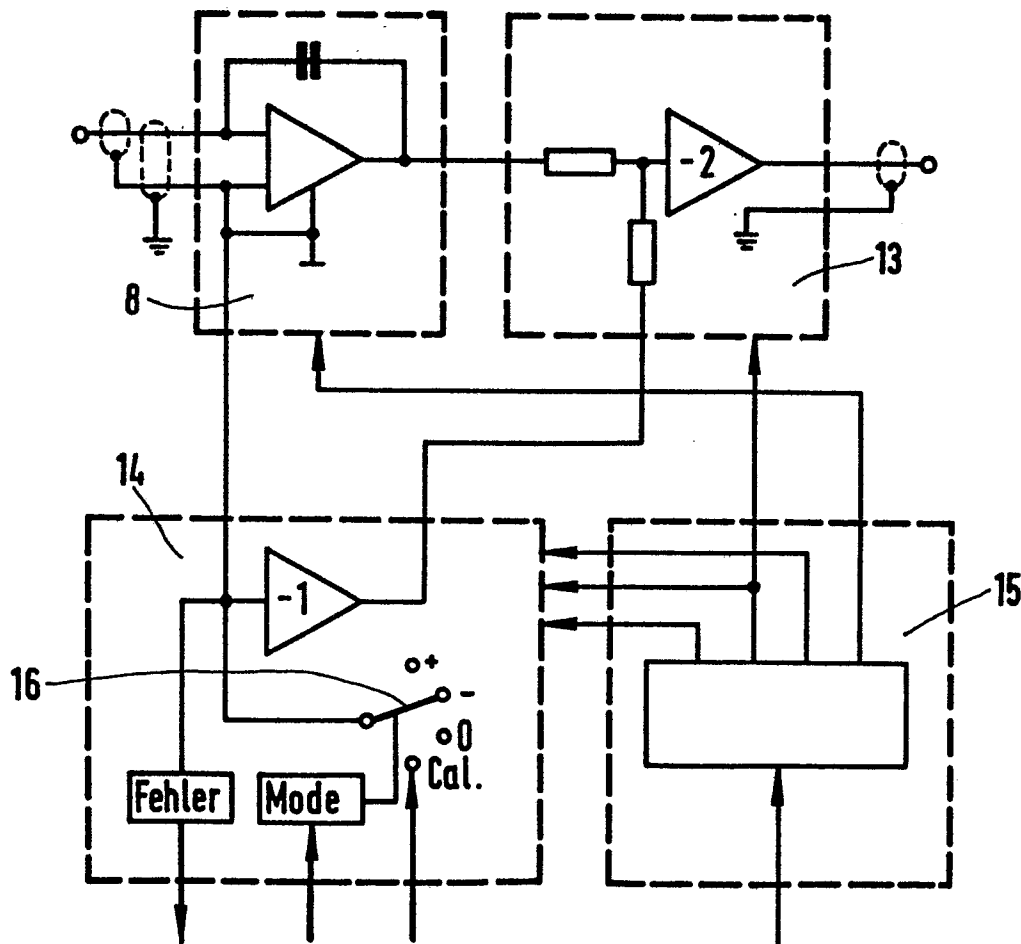


FIG. 5

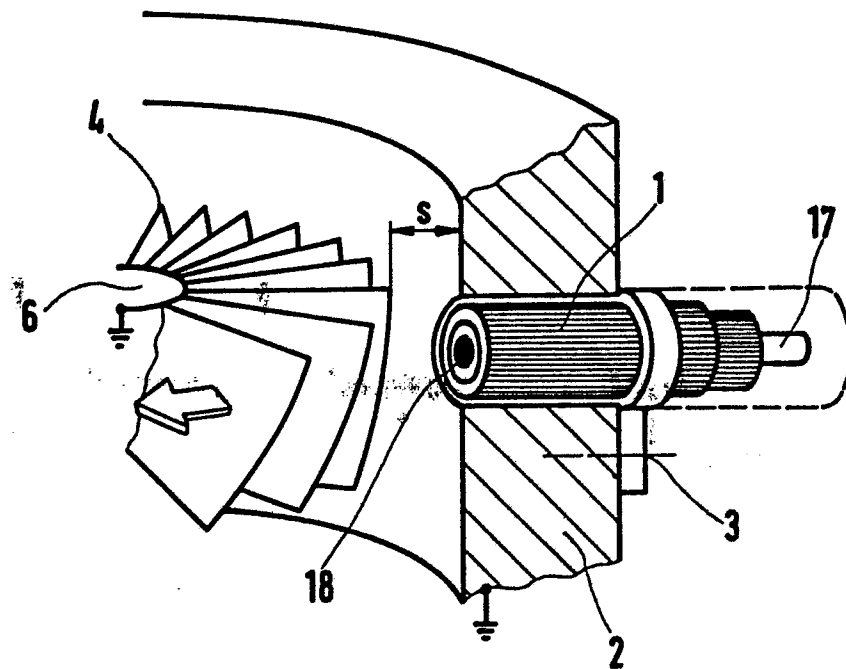
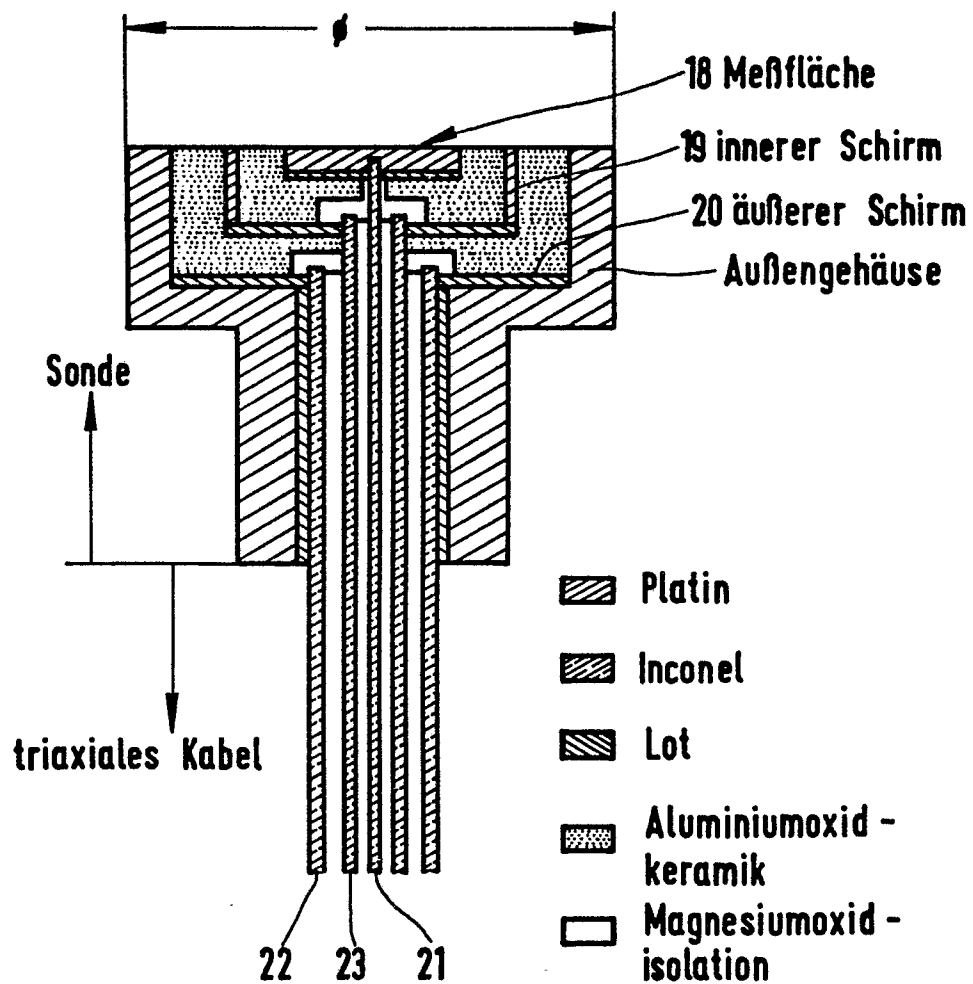


FIG. 6



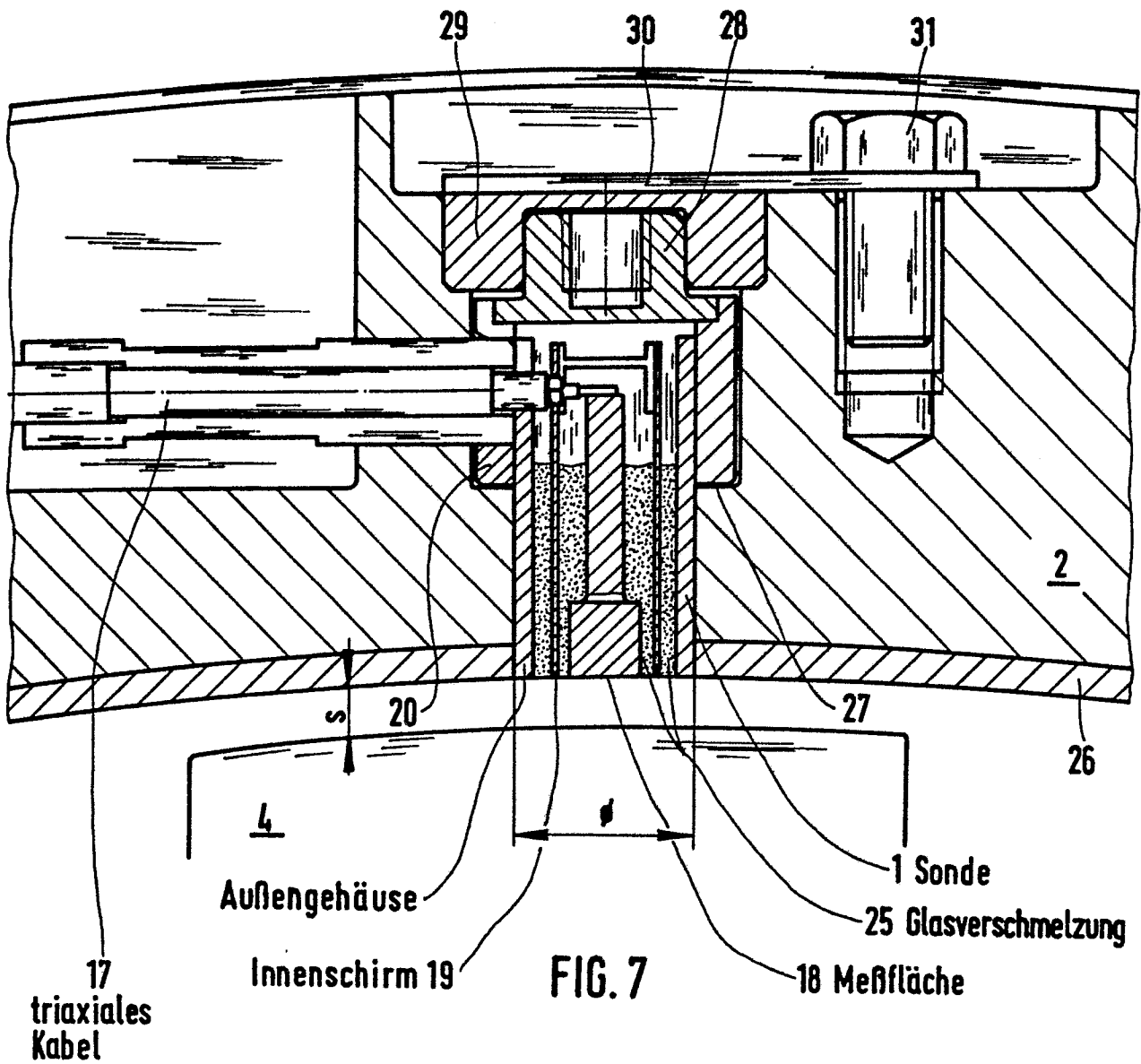


FIG. 8a

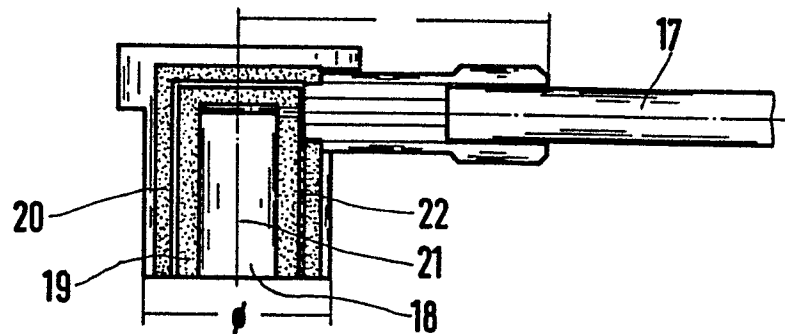
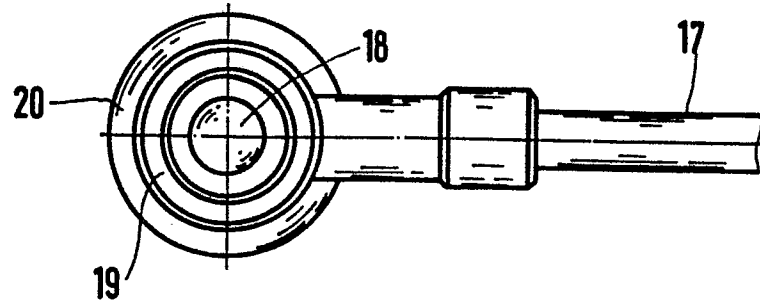


FIG. 8b



System zur geregelten Spaltkontrolle

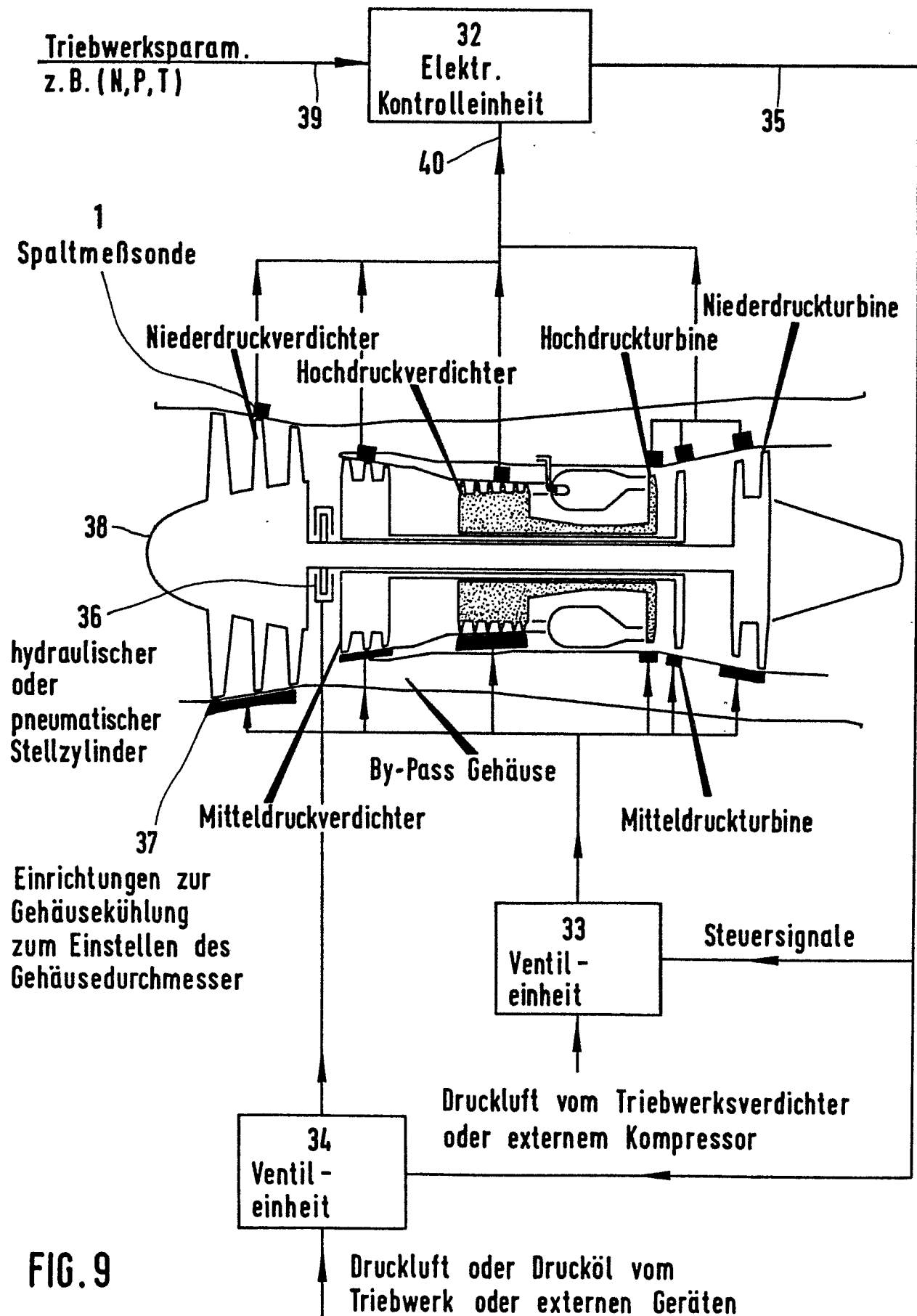


FIG. 9

0246576



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			EP 87107100.7
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. 4)
X	FR - A1 - 2 568 004 (OFFICE) * Gesamt *	1, 2, 4	G 01 B 7/14
	--		
Y	US - A - 3 628 136 (JONAS) * Gesamt *	1-4	
	--		
Y	FR - A1 - 2 496 871 (COMMISSARIAT) * Gesamt *	1-4	
	--		
D, A	DE - C1 - 3 433 351 (MTU) * Gesamt *	1	
	--		
A	FR - A1 - 2 521 719 (SOCIETE) * Gesamt *		
	--		
A	GB - A - 2 071 852 (ROLLS-ROYCE) * Gesamt *		G 01 B 7/00
	--		
A	GB - A - 2 063 477 (PLESSEY) * Gesamt *		

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort WIEN		Abchlußdatum der Recherche 10-07-1987	Prüfer TOMASELLI
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTEN X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			